
ABB ANTRIEBSTECHNIK

Technische Anleitung Nr. 6

Oberschwingungen bei Frequenzumrichtern



Oberschwingungen bei Frequenzumrichtern

Frequenzumrichter senken den Energieverbrauch und zeichnen sich durch hohe Flexibilität aus. Sie werden daher in zahlreichen Anwendungen eingesetzt. Wie viele andere elektronische Systeme verursachen konventionelle Frequenzumrichter aber Oberschwingungen. Daher befasst sich diese Anleitung schwerpunktmaessig mit Verfahren zur Reduzierung der Oberschwingungen. Auch die Ursachen und Auswirkungen von Oberschwingungen werden thematisiert.

Inhalt

004–006	Oberschwingungen – Grundlagen
007–010	Normen für Grenzwerte von Oberschwingungen
011	Analyse von Oberschwingungen
012–019	Reduzierung von Oberschwingungen
020–021	Weitere Methoden zur Reduzierung von Oberschwingungen
023–024	Zusammenfassung
025–028	Anhang
029	Definitionen

Oberschwingungen – Grundlagen

Oberschwingungsströme entstehen durch nichtlineare Lasten, die an das Netz angeschlossen sind. Die harmonische Verzerrung ist eine Form der Verschmutzung eines elektrischen Systems, die Probleme verursachen kann, wenn die Oberschwingungsströme bestimmte Grenzen überschreiten. Alle, in den verschiedenen elektronischen Systemen verwendeten leistungselektronischen Umrichter können die harmonischen Störungen durch die direkte Einspeisung von Oberschwingungsströmen erhöhen.

Quellen und Auswirkungen von Oberschwingungen

Zu den gängigen, nichtlinearen Lasten gehören Motorstarter, drehzahlgeregelte Antriebe, Computer und andere elektronischen Geräte, elektronische Beleuchtung, Schweißgeräte und die unterbrechungsfreie Stromversorgung.

Mögliche Auswirkungen von Oberschwingungen sind die Überhitzung von Transformatoren, Kabeln, Motoren, Generatoren und Kondensatoren, die an dieselbe Stromversorgung angeschlossen sind wie die Geräte, die Oberschwingungen erzeugen. Elektronische Anzeigen und Lampen können flackern, Leistungsschalter auslösen, Computer ausfallen und Messgeräte falsche Werte anzeigen.

Wenn die Ursache der obengenannten Symptome nicht bekannt ist, sollte das Anlagennetz auf Oberschwingungen untersucht werden. Die Auswirkungen treten wahrscheinlich zuerst in der Anlage des Kunden auf, bevor sie sich im übergeordneten Netz bemerkbar machen.

Diese Technische Anleitung dient dazu, Kunden beim Verständnis möglicher Oberschwingungsprobleme zu unterstützen.

Oberschwingungsströme

Im Idealfall weist der AC-Netzstrom eine reine Sinuskurve auf und enthält keine Oberschwingungen. In der Realität allerdings weicht der Strom von dieser reinen Sinuskurve ab und enthält Oberschwingungen.

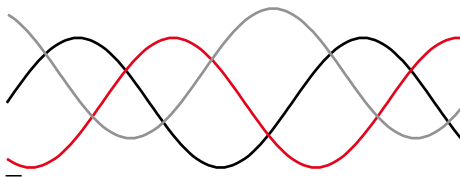


Abbildung 1.1 Ein(e) rein sinusförmige(r) Spannung und Strom enthalten keine Oberschwingungen.



Abbildung 1.2. Spannung und Strom, die/der von der Sinusform abweichen, enthalten Oberschwingungen.

Alle periodischen Dauersignale können als Summe von Sinuskomponenten dargestellt werden: Grundschiwingung + 3. + 5. + 7. + ...

Die Frequenz der Oberschwingungsströme eines dreiphasigen 6-Puls-Gleichrichters ist das n-Fache der Grundfrequenz (50 oder 60 Hz). In einem 50 Hz Netz ist eine 150 Hz Wellenform (3 x 50 Hz) die 3. Harmonische, eine 250 Hz Wellenform (5 x 50 Hz) die 5. Harmonische, eine 350 Hz Wellenform (7 x 50 Hz) die 7. Harmonische.

Das Prinzip, nach dem die Oberschwingungen zum Grundschiwingungsstrom hinzu addiert werden, ist aus Abbildung 1.3 ersichtlich, in der nur die 5. Harmonische dargestellt wird. Normalerweise werden die Oberschwingungen bis zur 40. oder 50. Ordnung berechnet.

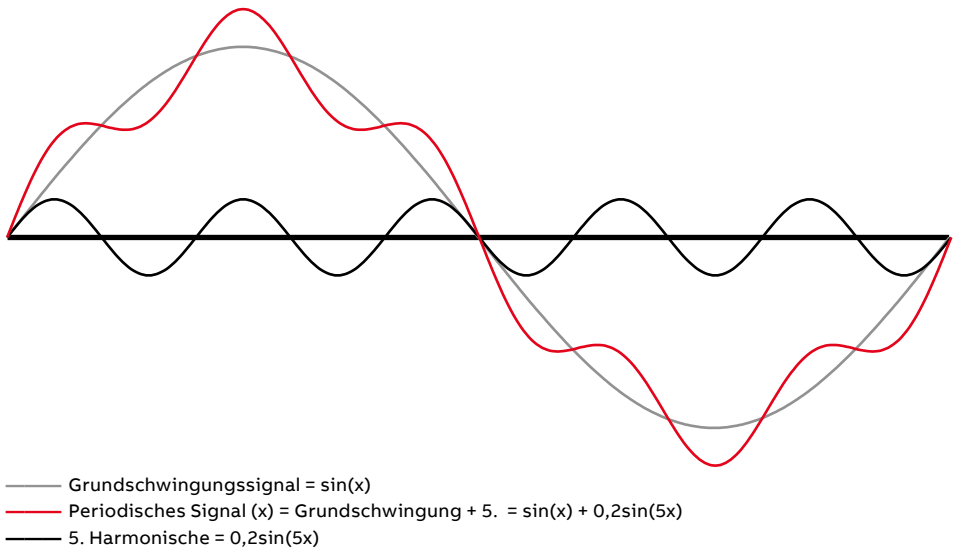


Abbildung 1.3 Der Gesamtstrom als Summe der Grundschwingung und der 5. Harmonischen.

Der Oberschwingungsgehalt wird als THDI%-Wert angegeben:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

wobei I_1 der Effektivwert des Grundschwingungsstroms und I_n die n. Harmonische ist.

Die Oberschwingungen sind in Abbildung 1.4 dargestellt.

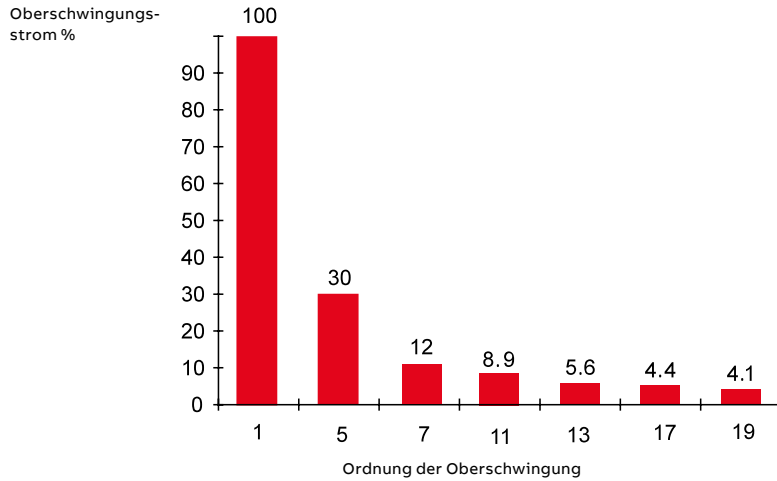


Abbildung 1.4 Der Oberschwingungsgehalt eines Stroms eines 6-Puls-Gleichrichters (mit Drossel).

Normen für Grenzwerte von Oberschwingung

Grenzwerte für Oberschwingungsströme sind in verschiedenen nationalen und internationalen Normen festgelegt. Darüber hinaus haben viele Übertragungs- und Verteilnetzbetreiber Anforderungen speziell für Hochleistungsgeräte festgelegt, die direkt an das Mittel- und Hochspannungsnetz angeschlossen sind. In bestimmten Branchen wurden sogar werkspezifische Vorschriften erlassen.

Die wichtigsten Normen sind die von der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) herausgegebenen Normen. Diese sind vor allem in den Ländern des Europäischen Wirtschaftsraums (EWR) wichtig, die sich auf gemeinsame Mindestanforderungen geeinigt haben, um den freien Warenverkehr innerhalb des EWR zu gewährleisten. Die CE-Kennzeichnung gibt an, dass das Produkt in Übereinstimmung mit den für dieses Produkt geltenden Richtlinien funktioniert. Die zu erfüllenden Anforderungen sind in den entsprechenden europäischen Normen festgelegt. Im Allgemeinen sind die europäischen EN-Normen mit den IEC-Normen identisch, lediglich die Vorsilbe IEC wird durch EN ersetzt.

Ein weiterer wichtiger Herausgeber ist das Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) mit Sitz in den USA. IEEE-Normen werden häufig auch außerhalb der USA gefordert.

Die gängigsten internationalen und nationalen Normen, die Grenzwerte für Oberschwingungen festlegen, werden im Folgenden kurz beschrieben.

EN 61800-3 (IEC 61800-3) Drehzahlveränderbare, elektrische Antriebssysteme.

Teil 3: EMV-Anforderungen einschließlich spezieller Prüfverfahren

IEC 61800-3 ist die Produktnorm für Antriebe, die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) definiert. Hinsichtlich der Oberschwingungen in einem öffentlichen Niederspannungsnetz (230/400 V, 50 Hz) gelten die Grenzwerte und Anforderungen der IEC 61000-3-2 für Geräte mit einem Nennstrom von ≤ 16 A. Für Geräte mit einem Nennstrom von mehr als 16 A aber weniger als 75 A gilt die Norm IEC 61000-3-12.

Hinweis: Wenn ein oder mehrere Leistungsantriebssysteme zu einer Einrichtung gehören, gelten die Normen für die komplette Einrichtung und nicht nur für das Leistungsantriebssystem. Enthält die Einrichtung also neben dem Leistungsantriebssystem auch lineare Lasten wie Heizwiderstände, so sind für die Einrichtung im Rahmen der IEC 61000-3-12 höhere Oberschwingungsemissionen des Leistungsantriebssystems zulässig, da der Nennstrom der Einrichtung höher ist als der Nennstrom des Leistungsantriebssystems allein. Für gewerblich eingesetzte Einrichtungen sind in der IEC 61000-3-2 keine Grenzwerte festgelegt, wenn die Gesamtnennleistung größer als 1 kW ist.

Für Einrichtungen, die nicht unter die Normen IEC 61000-3-2 oder IEC 61000-3-12 fallen, sieht die IEC 61800-3 vor, dass der Hersteller in der Dokumentation des Leistungsantriebssystems oder auf Anfrage den Oberschwingungsgehalt THC unter Nennbedingungen als Prozentsatz des Nenneffektivstroms am Netzanschluss angeben muss. Die Oberschwingungsströme und der entsprechende THC muss für jede Harmonische bis zur 40. berechnet werden. Für diese Standardberechnungen wird angenommen, dass der Leistungsantrieb an einen Anschlusspunkt (PC) mit einem Kurzschlussverhältnis von $R_{sc} = 250$ angeschlossen ist und die Anfangsspannungsverzerrung weniger als 1% beträgt. Die interne Impedanz des Netzes muss als reine Reaktanz angenommen werden. Beim Einsatz von Leistungsantrieben in Industrieanlagen sollte eine vernünftige ökonomische Vorgehensweise, welche die

Gesamtanlage berücksichtigt, zugrunde gelegt werden. Diese Vorgehensweise basiert auf der festgelegten Leistung, die immer geliefert werden kann. Das Verfahren zur Berechnung der Oberschwingungen der Gesamtanlage wird vereinbart und die Grenzwerte für die Spannungsverzerrung oder den Gesamtoberschwingungsstrom werden festgelegt. Die in IEC 61000-2-4 angegebenen Kompatibilitätsgrenzen können als Grenzwerte für die Spannungsverzerrung verwendet werden.

IEC 61000-2 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Teil 2-2: Umgebungsbedingungen – Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen und Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen

Diese Norm legt die Verträglichkeitsgrenzen für leitungsgeführte niederfrequente Störungen und die Signalübertragung in öffentlichen Niederspannungsnetzen fest. Zu den Störphänomenen gehören Harmonische, Zwischenharmonische, Spannungsschwankungen, Spannungseinbrüche, Kurzzeitunterbrechungen, Spannungsunsymmetrie usw. Grundsätzlich legt diese Norm die Ausführungskriterien für den Anlagenbauer und die Mindestanforderungen an die Störfestigkeit für die Einrichtung fest. IEC 61000-2-2 berücksichtigt die Grenzwerte, die in EN 50160 für die Spannungsqualität festgelegt sind, die der Stromversorger an den Hausanschlüssen gewährleisten muss.

IEC 61000-2 - Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Teil 2-4: Umgebungsbedingungen - Verträglichkeitspegel für niederfrequente leitungsgeführte Störgrößen in Industrieanlagen

IEC 61000-2-4 ist der IEC 61000-2-2 ähnlich, legt jedoch die Verträglichkeitspegel für industrielle und nichtöffentliche Netze fest. Dazu gehören Niederspannungsnetze und Mittelspannungseinspeisungen, ausgenommen Bordnetze auf Schiffen und Offshore-Plattformen sowie in Flugzeuge und Bahnen.

IEC 61000-3-2, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Teil 3-2: Grenzwerte – Grenzwerte für Oberschwingungsströme (Geräte-Eingangsstrom < 16 A je Leiter)

Diese Norm behandelt die Grenzwerte für Oberschwingungsströme einzelner Betriebsmittel, die an das öffentliche Stromnetz angeschlossen sind. Diese Norm wird häufig aktualisiert, da ständig neue Geräte auf den Markt kommen und besondere Prüfbedingungen erfordern.

IEC 61000-3-4, Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Diese Norm wurde als Technischer Bericht Typ II veröffentlicht. Sie enthält die Grenzwerte für Oberschwingungsströme für einzelne Betriebsmittel mit einem Nennstrom von mehr als 16 A. Sie gilt für öffentliche Netze mit 230 V (einphasig) bis 600 V (dreiphasig). Die IEC 61000-3-4 wurde im Strombereich von 16 A bis 75 A durch die IEC 61000-3-12 ersetzt, und für Ströme größer als 75 A sind in der IEC 61000-3-4 keine Grenzwerte festgelegt. Obwohl die IEC 61000-3-4 heute weitgehend überflüssig ist, finden sich in verschiedenen Dokumenten immer noch Verweise darauf.

IEC 61000-4-7 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMC)

Teil 4-7: Prüf- und Messverfahren – Allgemeiner Leitfaden für Verfahren und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten

In dieser Norm werden die zur Oberschwingungsmessung verwendeten Verfahren festgelegt. Die Oberschwingungen können ohne Gruppierung, mit Gruppierung und mit Untergruppierung gemessen werden. Der Vorteil der Gruppierung und Untergruppierung liegt in gleichmäßigeren gemessenen Oberschwingungsstromwerten bei schwankenden Lasten.

Gruppierung bedeutet, dass die Teilschwingungen, die bei einer Frequenzauflösung von 5 Hz aus einer Fourier-Analyse aus einem Zeitfenster von 200 ms des gemessenen Signals berechnet wurden, um die harmonischen Frequenzen herum summiert werden.

Beispiel: In einem 50 Hz Netz hat die 5. Harmonische eine Frequenz von 250 Hz. Ohne Gruppierung ist der Wert der Oberschwingung der Effektivwert der Teilschwingung nur bei der Frequenz 250 Hz. Bei Anwendung von Untergruppen werden die effektiven Teilschwingungen bei den Frequenzen 245 Hz, 250 Hz und 255 Hz quadriert, summiert und dann die Quadratwurzel aus der Summe gezogen. Mit Gruppierung wird die Summierung auf Teilschwingungen mit 225 Hz, 230 Hz, 235 Hz, 240 Hz, 245 Hz, 250 Hz, 255 Hz, 260 Hz, 265 Hz, 270 Hz und 275 Hz erweitert. Für die Berechnungen wird jedoch nur die Hälfte der Werte der Frequenzkomponenten 225 Hz und 275 Hz verwendet.

Bei Diodengleichrichtern mit konstanter Last ist der Unterschied zwischen den Oberschwingungsstromwerten ohne Gruppierung, mit Gruppierung und Untergruppierung gering. Bei einer schnell schwankenden Last kann ein gewisser Anstieg beobachtet werden.

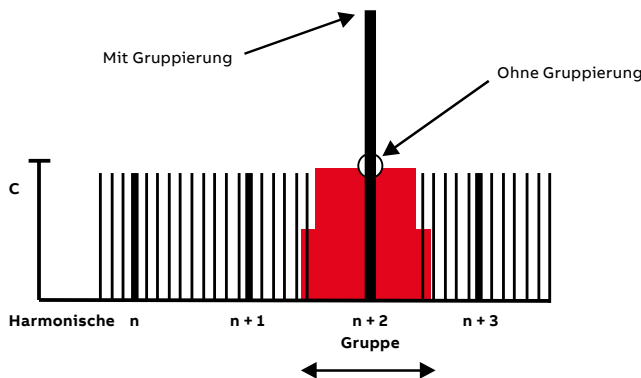


Abbildung 2.1 Die Gruppierung der Teilschwingungen erhöht den Wert des Oberschwingungsstrom, wenn das Spektrum durchgängig ist.

Zurzeit kann der Hersteller des Geräts gemäß Abschnitt 7 der 2. Ausgabe der IEC 61000-4-7 die Verträglichkeitsprüfung mit den Grenzwerten der IEC 61000-3-2 und IEC 61000-3-12 mit oder ohne Gruppierung durchführen. Wurde die Messung ohne Gruppierung durchgeführt, sollte im Prüfbericht angegeben werden, dass die Messgeräte der Ausgabe 1991 entsprechen.

Ferner ist zu beachten, dass IEEE 519-2014 auf IEC 61000-4-7 verweist und Messungen mit Untergruppierung vorschreibt.

IEC 61000-4-30 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMC)

Teil 4-30: Prüf- und Messverfahren – Verfahren zur Messung der Spannungsqualität

In dieser Norm sind die Anforderungen an Power-Quality-Messgeräte festgelegt. Im Hinblick auf die Oberschwingungen sollten die genauesten Klasse-A-Messgeräte sowohl für Spannungs- als auch für Strom Oberschwingungen eine Untergruppierung verwenden. Bei weniger anspruchsvollen Zählern der Klasse S kann der Messgerätehersteller entweder eine Gruppierung oder Untergruppierung wählen, die er bei seinen Produkten verwendet.

IEC/TR 61000-3-6, IEC/TR 61000-3-13, IEC/TR 61000-3-14 und IEC/TR 61000-3-15

Bei diesen IEC-Publikationen handelt es sich um Technische Berichte. Technische Berichte können keine Anforderungen enthalten, aber sie können Werte und Methoden in Form von Vorschlägen, Empfehlungen und Leitlinien darstellen. IEC/TR 61000-3-6 und IEC 61000-3-13 befassen sich mit Oberschwingungen von Anlagen, die an Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetze angeschlossen sind. IEC/TR 61000-3-14 befasst sich mit Oberschwingungen von Anlagen, die an öffentliche Niederspannungsnetze angeschlossen sind. IEC/TR 61000-3-15 befasst sich mit Oberschwingungen von verteilten Erzeugungsanlagen wie Photovoltaikanlagen.

IEEE 519, IEEE Recommended practices and requirements for harmonic control in electrical power systems

Die Philosophie bei der Erarbeitung von Oberschwingungsgrenzwerten bei dieser empfohlenen Praxis besteht in der Begrenzung der Einspeisung von Oberschwingungen durch einzelne Kunden, so dass sie nicht zu einer inakzeptablen Spannungsverzerrung bei normalen Systemeigenschaften führen, sowie einer Begrenzung der Gesamtverzerrung der vom EVU gelieferten Netzspannung. Diese Norm wird auch als American National Standard anerkannt und in den USA vielfach verwendet, besonders auf dem Markt der öffentlichen Stromversorger.

Die Norm liegt keine Grenzwerte für einzelne Einrichtungen, sondern für einzelne Kunden fest. Die Kunden werden nach dem Verhältnis des verfügbaren Kurzschlussstroms (I_{sc}) zu ihrem maximalen Laststrom (I_L) am Verknüpfungspunkt eingeteilt. Der benötigte Gesamtlaststrom ist die Summe der linearen und nichtlinearen Lasten. In einer Industrieanlage ist der Verknüpfungspunkt (PCC) klar als Punkt zwischen den nichtlinearen und sonstigen Lasten definiert.

Die zulässigen individuellen Oberschwingungsströme und die gesamte harmonische Verzerrung werden als Verhältnis des verfügbaren Kurzschluss-Stroms zum gesamten benötigten Laststrom (I_{sc}/I_L) am Verknüpfungspunkt angegeben. Die Grenzwerte werden als Prozentsatz von I_L für alle geraden und ungeraden Oberschwingungen ab der 2. Ordnung bis unendlich angegeben. Die entsprechende Verzerrung wird als Gesamtverzerrung des Bedarfs bezeichnet und sollte ebenfalls bis ins Unendliche berechnet werden. Viele Autoren begrenzen die Berechnung sowohl der einzelnen Oberschwingungen als auch TDD auf 50.

Tabelle 2 der Norm von 2014 wird manchmal fälschlicherweise so interpretiert, dass sie Grenzwerte für die Oberschwingungen eines einzelnen Geräts angibt, indem das Kurzschlussverhältnis (R_{sc}) des Geräts anstelle von I_{sc}/I_L der gesamten Anlage verwendet wird. Die in der Tabelle angegebenen Grenzwerte dürfen nicht auf diese Weise verwendet werden, da immer das Verhältnis des Kurzschluss-Stroms zum gesamten Laststrom der Anlage verwendet werden muss.

IEEE 1547 Normenreihe für dezentrale Ressourcen

Die IEEE 1547 Normen befassen sich mit der Zusammenschaltung dezentraler Ressourcen wie der photovoltaischen Stromerzeugung mit Stromnetzen. Derzeit enthält die Reihe neben IEEE 1547 auch die Normen IEEE 1547.1 bis IEEE 1547.4 und IEEE 1547.6 bis IEEE 1547.8. Die Grenzwerte für Oberschwingungen sind in IEEE 1547 definiert, sie entsprechen den strengsten Grenzwerten in IEEE 519. Die Prüfung von Oberschwingungen ist in IEEE 1547.1 festgelegt. IEEE 1547.7 gibt eine Anleitung zu Oberschwingungsstudien.

Analyse von Oberschwingung

Die IEEE P519.1/D12 "Guide for applying harmonic limits on power systems" (Entwurf) stellt einige allgemeine Regeln für die Analyse von Oberschwingungsgrenzwerten in einer Industrieanlage vor. Das Vorgehen wird in dem Flussdiagramm in Abbildung 3.1 dargestellt.

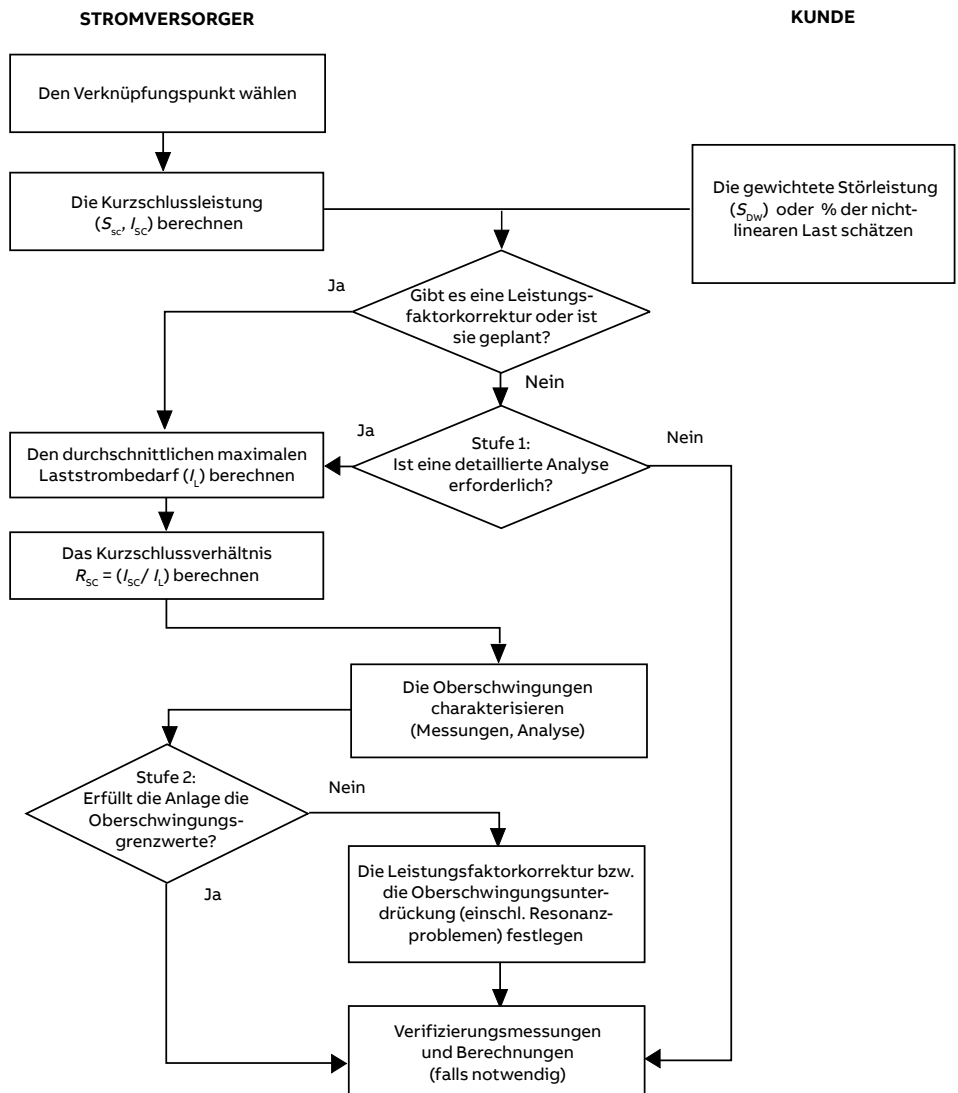


Abbildung 3.1 Analyse der harmonischen Verzerrung.

Reduzierung von Oberschwingungen durch strukturelle Modifikationen am Antriebssystem

Faktoren im Frequenzumrichter, welche die Oberschwingungen beeinflussen

Eine Reduzierung der Oberschwingungen kann entweder durch konstruktive Änderungen am Antriebssystem oder durch externe Filterung erfolgen. Mit konstruktiven Änderungen kann die Einspeisung stabilisiert werden. Es können auch Frequenzumrichter mit mindestens 12 Pulsen oder ein gesteuerter Gleichrichter verwendet werden oder Frequenzumrichter mit einem eingebauten Filter ausgestattet werden.

Abbildung 4.1 stellt die Faktoren dar, die in einem Frequenzumrichter die Oberschwingungen beeinflussen. Die Stromoberschwingungen hängen von der Konstruktion des Antriebs ab, und die Spannungsoberschwingungen sind die Stromoberschwingungen multipliziert mit den Impedanzen der Einspeisung.

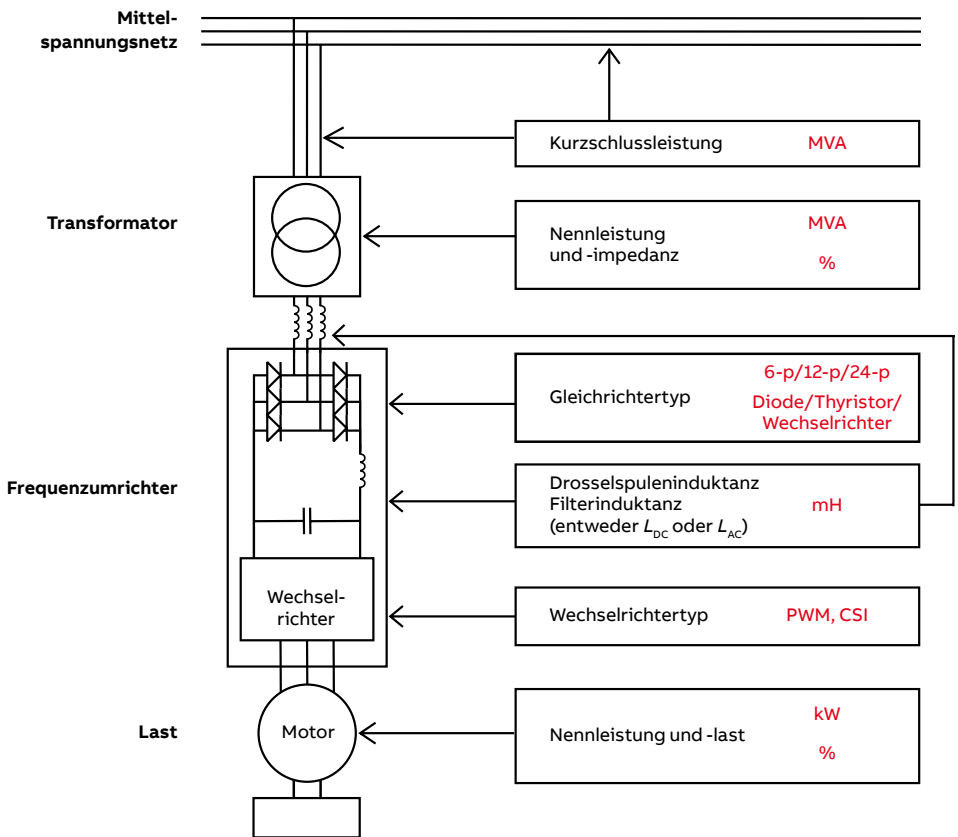


Abbildung 4.1 Merkmale des Antriebssystems, welche die Oberschwingungen beeinflussen.

Verwendung einer größeren DC- oder AC-Drossel

Die Oberschwingungen eines Frequenzumrichters können durch den Anschluss einer ausreichend dimensionierten Drossel am AC-Eingang oder dem DC-Zwischenkreis erheblich reduziert werden. Der Trend ging zu kleineren Umrichtern und kleineren Drosseln, in manchen Fällen wurde ganz darauf verzichtet. Die Wirkung wird in den in Abbildung 4.2 dargestellten Kurven sichtbar.

Das in Abbildung 4.3 dargestellte Diagramm zeigt die Auswirkung der Größe der DC-Drossel auf die Oberschwingungen. Bei den ersten 25 Harmonischen liegt der theoretische Mindestüberschwingungsgehalt bei 29 %. Dieser Wert wird praktisch erreicht, wenn die Induktivität bei einem 1 kW Motor 100 mH oder bei einem 100 kW Motor (415 V, 50 Hz) 1 mH beträgt. In der Praxis kann eine optimale Dimensionierung erreicht werden, wenn das Produkt aus der Motorleistung in kW und der Induktivität in mH nahe bei 25 liegt.

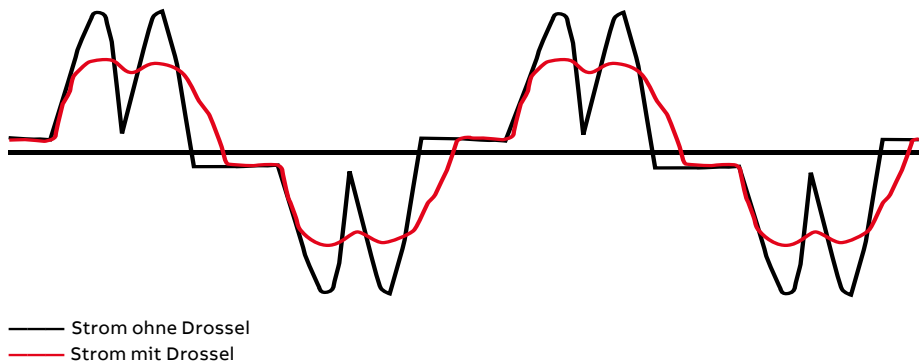


Abbildung 4.2 Die Auswirkung einer Drossel auf den Netzstrom.

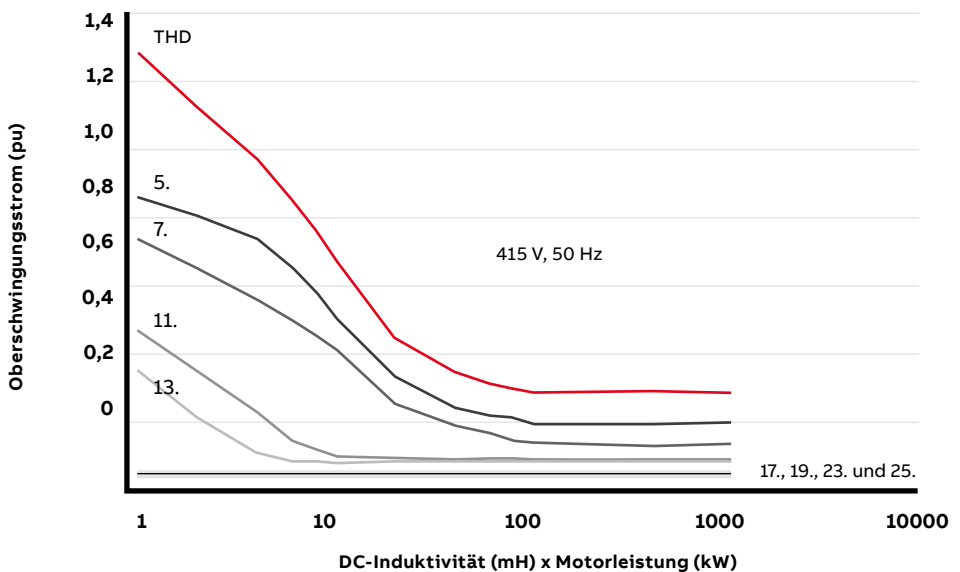


Abbildung 4.3 Oberschwingungsstrom in Abhängigkeit der DC-Induktivität.

Die Spannungsverzerrung bei einer bestimmten Stromverzerrung hängt von dem Kurzschlussverhältnis R_{sc} der Einspeisung ab. Je höher das Verhältnis ist, desto geringer ist die Spannungsverzerrung. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 4.4 dargestellt.

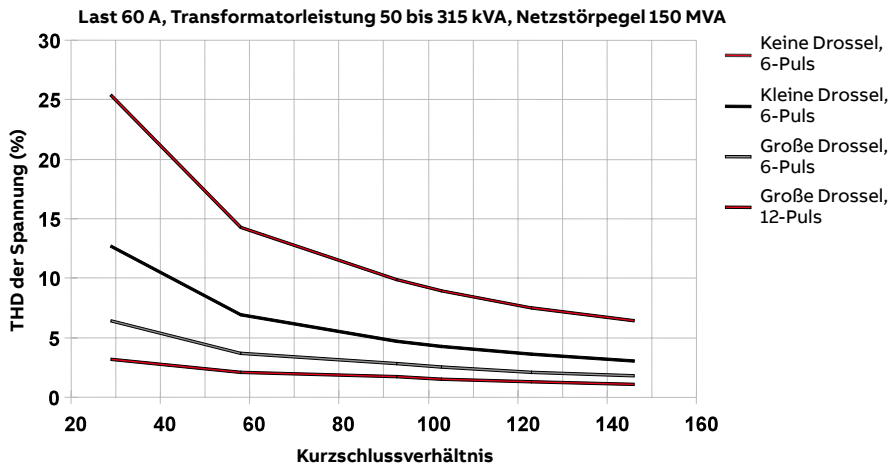
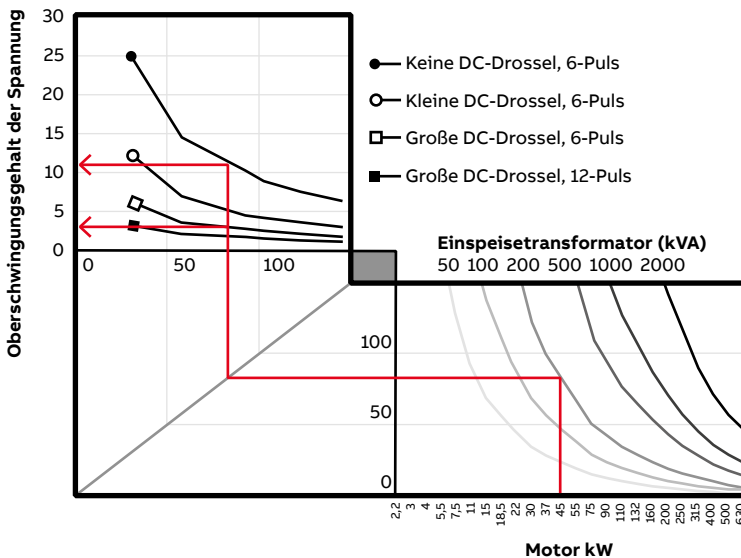


Abbildung 4.4 THD der Spannung verglichen mit dem Frequenzumrichtertyp und dem Kurzschlussverhältnis.

Abbildung 4.5 stellt ein einfaches Nomogramm zur Schätzung der Oberschwingungsspannungen dar. Wählen Sie auf der untenstehenden Kurve zuerst die Motorleistung (kW), dann die kVA des Transformators und fahren Sie dann horizontal zu der Diagonalen, auf der Sie dann aufwärts gehen und so die Kurve finden, die für Ihre Applikation zutrifft. Gehen Sie dann nach links zur y-Achse und lesen Sie die nichtlineare Gesamtverzerrung ab.

Eingangsdaten für Berechnungen:

- Motornennleistung für den Frequenzumrichter
- Konstante Drehmomentbelastung
- Spannung 415 V
- Frequenzumrichter-Wirkungsgrad = 97 %
- Netzimpedanz = 10 % der Transformatorimpedanz



Beispiel: Ein 45 kW Motor ist an einen "200 kVA Transformator" angeschlossen.
THD = ca. 3 % bei einem "Frequenzumrichter mit großer Drossel" und ca. 11 % bei einem „
Frequenzumrichter ohne Drossel“

Abbildung 4.5 Nomogramm des Oberschwingungsgehalts.

Die Ergebnisse der Laborprüfungen mit Antrieben verschiedener Hersteller sind in Abbildung 4.6 dargestellt. Antrieb A mit einer großen DC-Drossel weist den geringsten Stromüberschwingungsgehalt auf, Antriebe ohne Drossel haben die stärksten Oberschwingungen.

Verwendung von 12-Puls- oder 24-Puls-Gleichrichtern anstelle von 6-Puls-Gleichrichtern

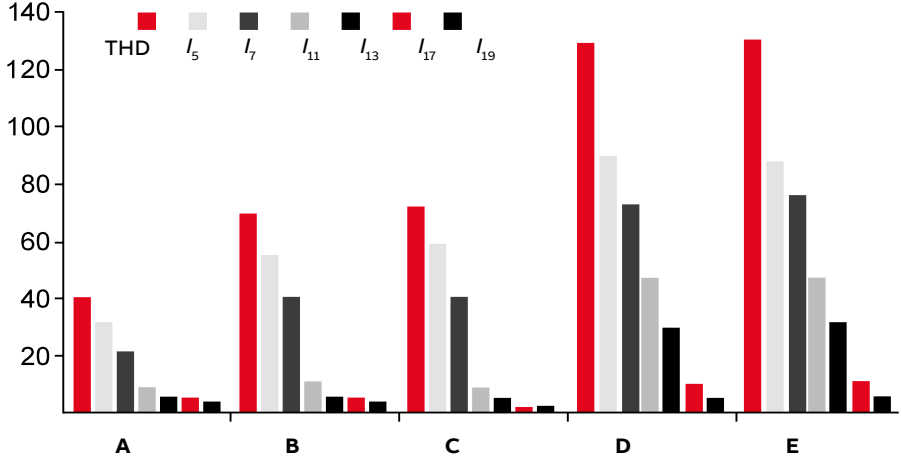


Abbildung 4.6 Oberschwingungsstrom bei unterschiedlichen DC-Induktivitäten. A = große DC-Induktivität, B, C = kleine DC-Induktivität, D, E = ohne DC-Induktivität

Die Anschlussmöglichkeiten für die einzelnen Gleichrichterlösungen sind in Abbildung 4.7 dargestellt. Die am häufigsten in 3-phasigen AC-Antrieben eingesetzte Gleichrichterschaltung ist die 6-Puls-Diodenbrücke. Sie besteht aus sechs Dioden und einer Drossel, die zusammen mit dem DC-Kondensator einen Tiefpassfilter zur Glättung des Gleichstroms bildet. Diese Drossel kann sich auf der DC- oder AC-Seite befinden oder kann ganz entfallen. Der 6-Puls-Gleichrichter ist einfach und kostengünstig, erzeugt jedoch starke Oberschwingungen mit niedriger Ordnungszahl 5., 7. und 11. besonders bei geringen Glättungsinduktivitäten.

Die Wellenform des Stroms ist in Abbildung 4.7 dargestellt. Besteht der größte Teil der Last aus Umrichtern mit einem 6-Puls-Gleichrichter, muss der Einspeisetransformator überdimensioniert werden, und die Einhaltung der Anforderungen aus den Normen kann schwierig sein. In vielen Fällen ist eine Filterung der Oberschwingungen notwendig.

Ein 12-Puls-Gleichrichter besteht aus zwei parallel geschalteten 6-Puls-Gleichrichtern zur Versorgung des DC-Zwischenkreises. Der Eingang in die Gleichrichter erfolgt über einen Dreiwicklungstransformator. Die Sekundärwicklungen des Transformators weisen eine Phasenverschiebung von 30° auf. Der Vorteil dieser Anordnung auf der Einspeiseseite ist, dass einige der Oberschwingungen gegenphasig sind und somit eliminiert werden. Theoretisch ist von der Primärseite der Transformatoren aus gesehen die Oberschwingung mit der niedrigsten Frequenz die 11.

Die größten Nachteile sind die Notwendigkeit spezieller Transformatoren und die höheren Kosten im Vergleich zum 6-Puls-Gleichrichter.

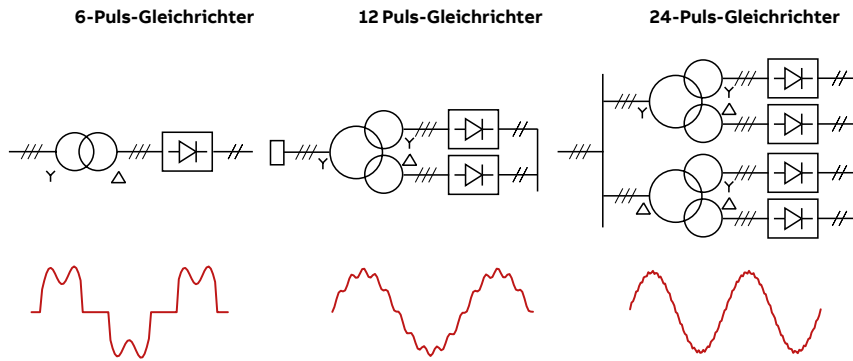


Abbildung 4.7 Netzstromkurven bei verschiedenen Gleichrichterkonstruktionen.

In Abbildung 4.7 wird auch das Prinzip eines 24-Puls-Gleichrichters dargestellt. Er besteht aus zwei parallel geschalteten 12-Puls-Gleichrichtern und zwei Dreiwicklungstransformatoren mit einer Phasenverschiebung von 15° . Der Vorteil besteht darin, dass praktisch alle niederfrequenten Oberschwingungen eliminiert werden, der Nachteil jedoch sind die hohen Kosten. Bei einem Einzelantrieb mit hoher Leistung oder einer großen Anlage mit mehreren Antrieben kann ein 24-Puls-System die kostengünstigste Lösung mit dem geringsten Oberschwingungsgehalt darstellen.

Ein phasengesteuerter Gleichrichter wird durch Austausch der Dioden eines 6-Puls-Gleichrichters durch Thyristoren realisiert. Da ein Thyristor einen Zündimpuls für den Übergang vom nichtleitenden zum leitenden Zustand benötigt, kann der Phasenwinkel, bei dem der Thyristor leitend wird, verzögert werden. Durch Verzögerung des Zündwinkels über 90° wird die DC-Zwischenkreisspannung negativ. Dies ermöglicht eine Energierückspeisung aus dem DC-Zwischenkreis in das Netz.

Die Konfigurationen des Spannungszwischenkreisumrichters erlauben keinen Polaritätswechsel der DC-Spannung, und es ist gängiger, eine weitere Thyristorbrücke antiparallel zur ersten zu schalten, um eine Umpolung des Stroms zu ermöglichen. In dieser Konfiguration arbeitet die erste Brücke im Gleichrichtermodus und die andere im Rückspeisemodus.

Die Stromkurven von phasengesteuerten Gleichrichtern ähneln denen der entsprechenden 6-, 12- und 24-Puls-Diodengleichrichter, aber der Verschiebungsfaktor ist niedriger, wenn der Zündwinkel größer als Null ist. Daher ist der Leistungsfaktor beim Bremsen geringer als im Normalbetrieb.

Zusätzlich zu diesen Problemen verursacht ein Umrichter mit Phasenanschnittsteuerung größere Kommutierungseinbrüche in der Wellenform der Versorgungsspannung. Die Phasenlageposition der Einbrüche ändert sich mit dem Zündwinkel.

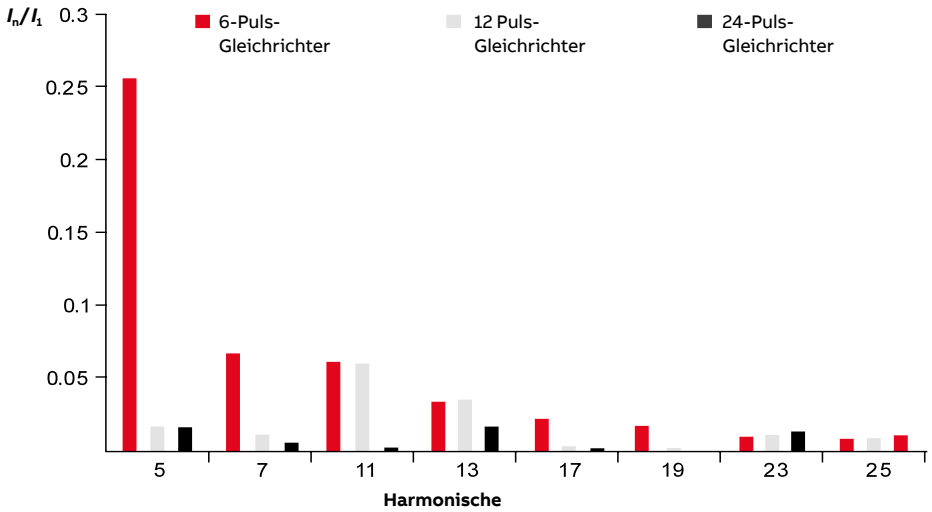


Abbildung 4.8 Oberschwingungen verschiedener Gleichrichter.

Einspeisetyp	TDH (%) Strom	TDH (%) Spann. R _{sc} =20	TDH (%) Spann. R _{sc} =100	Wellenform des Stroms
6-Puls-Gleichrichter	40	10	2	
12 Puls-Gleichrichter	10	2,0	0,5	
IGBT-Einspeiseeinheit	4	1,5	0,3	

Abbildung 4.9 Verzerrung bei verschiedenen Typen von Einspeiseeinheiten. Die Werte können von Fall zu Fall variieren. Die Verzerrung ist in % der Effektivwerte angegeben.

Verwendung einer IGBT-Einspeiseeinheit (ISU), d. h. einen Low Harmonic Drive

Eine Gleichrichterbrücke aus selbstkommutierenden Komponenten eröffnet mehrere Vorteile und Möglichkeiten verglichen mit phasenkommutierten Ausführungen. Wie bei einem phasengesteuerten Gleichrichter ermöglicht eine aktive Einspeiseeinheit sowohl die Gleichrichtung als auch die Rückspeisung. Die DC-Spannung und der Verschiebungsfaktor können jedoch unabhängig von der Richtung des Leistungsflusses separat geregelt werden.

Die wesentlichen Vorteile:

- Verbesserte Netzausfallüberbrückung.
- Hohe Dynamik der Antriebsregelung auch im Feldschwähebereich.
- Fähigkeit zur Blindleistungserzeugung.
- Ein nahezu sinusförmiger Strom mit geringem Oberschwingungsanteil. Die Messergebnisse für einen Antrieb sind in Abbildung 4.10 dargestellt. Der Vergleich mit den Abbildungen 4.7 bis 4.9 zeigt einen deutlichen Unterschied. Die aktive Einspeiseeinheit hat bei niederen Frequenzen einen sehr geringen Oberschwingungsgehalt, der jedoch bei höheren Frequenzen etwas höher liegt.
- Möglichkeit der Spannungserhöhung. Bei einer niedrigen Einspeisespannung kann die DC-Spannung erhöht werden, um die Motorspannung über der Einspeisespannung zu halten.

Ein Nachteil ist die hochfrequente Gleichtaktverzerrung der Phase-Nullleiter- und Phase-Erde-Spannungen. Zur Vermeidung von Störungen ist eine spezielle Filterung zur Unterdrückung hochfrequenter Oberschwingungen erforderlich.

Rückspeisefähige Gleichrichtereinheit (RRU)

Eine alternative Form der IGBT-Brücke ist die rückspeisefähige Gleichrichtereinheit (RRU), bei der die IGBTs so gesteuert werden, dass sie in denselben Intervallen leiten wie Dioden in einer 6-Puls-Brücke. Da der Strom in der IGBT-Brücke in beide Richtungen fließen kann, kann beim Bremsen Energie in das AC-Netz zurückgespeist werden. Die Stromoberschwingungen sind natürlich ähnlich wie bei der 6-Puls-Diodenbrücke.

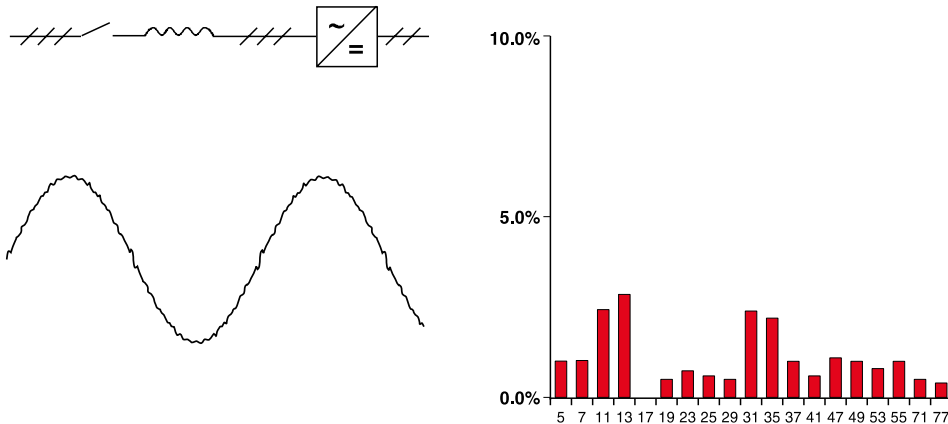


Abbildung 4.10 Oberschwingungen im Netzstrom der aktiven Einspeiseeinheit.

Liste der verschiedenen Faktoren und ihre Auswirkungen auf Antriebssysteme mit Diodengleichrichtern

Die Ursache	Die Auswirkung
Je größer der Motor...	desto höher die Stromoberschwingungen
Je höher die Motorlast...	desto höher die Stromoberschwingungen
Je höher die DC- oder AC-Induktivität...	desto niedriger die Stromoberschwingungen
Je höher die Anzahl der Pulse im Gleichrichter...	desto niedriger die Stromoberschwingungen
Je größer der Transformator...	desto niedriger die Spannungsoberschwingungen ¹⁾
Je geringer die Transformator-Impedanz...	desto niedriger die Spannungsoberschwingungen ¹⁾
Je höher die Kurzschlussleistung der Einspeisung...	desto niedriger die Spannungsoberschwingungen

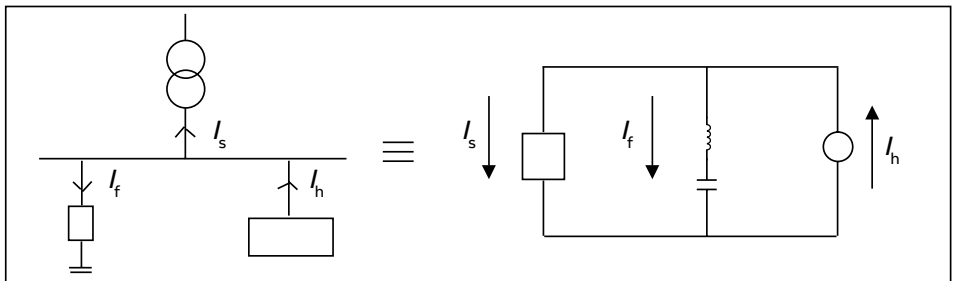
¹⁾ auf der Niederspannungsseite des Transformators

Weitere Methoden zur Reduzierung von Oberschwingung

Filtern ist eine Methode zur Verringerung der Oberschwingungen in Industrieanlagen, wenn sich die harmonische Verzerrung langsam erhöht hat, oder als Gesamtlösung in einer neuen Anlage. Grundsätzlich gibt es zwei Methoden: passive und aktive Filter.

Abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig

Das Prinzip eines abgestimmten Passivfilters mit einem Zweig wird in Abbildung 5.1 dargestellt. Ein solcher Filter sollte bei der Oberschwingung mit der niedrigsten Ordnung verwendet werden, wenn im System deutliche Oberschwingungen erzeugt werden. Bei Systemen, die hauptsächlich eine industrielle Last versorgen, wäre dies wahrscheinlich die fünfte Harmonische. Oberhalb der abgestimmten Frequenz werden die Oberschwingungen absorbiert, unterhalb dieser Frequenz jedoch werden sie verstärkt.



- Nicht abgestimmt – einzelne Abstimmfrequenz
- Oberhalb der abgestimmten Frequenz werden Oberschwingungen absorbiert
- Unterhalb der abgestimmten Frequenz können Oberschwingungen verstärkt werden
- Durch eine mögliche Überkompensation bei der Einspeisefrequenz und im Netz selbst begrenzte Oberschwingungsdämpfung

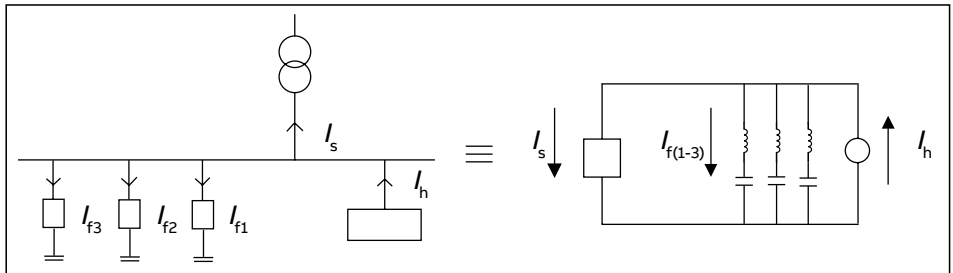
Abbildung 5.1 Abgestimmter Passivfilter mit einem Zweig.

Dieser Filtertyp besteht aus einer Drossel, die mit einem Kondensator in Reihe geschaltet ist, und der beste Platz für einen Passivfilter ist nahe an der Oberschwingungsquelle. Diese Lösung wird normalerweise bei Neuanlagen nicht verwendet.

Abgestimmter Passivfilter mit mehreren Zweigen

Das Funktionsprinzip dieses Filters ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Dieser Filter besitzt mehrere Zweige, die auf mindestens zwei Oberschwingungen abgestimmt sind, die die niedrigsten signifikanten Frequenzen im Netz sein müssen. Der Mehrfachfilter besitzt eine bessere Oberschwingungsdämpfung als das System mit einem Zweig.

Passivfilter mit mehreren Zweigen werden häufig bei großen DC-Antriebssystemen verwendet, bei denen ein Transformator die gesamte Anlage versorgt.



- Unterhalb der abgestimmten Frequenz kapazitiv/darüber induktiv
- Bessere Oberschwingungsdämpfung
- Gefahr der Verstärkung von Oberschwingungen aufgrund von Filterresonanzen
- Durch die kVAR und das Netz begrenzt

Abbildung 5.2 Abgestimmter Passivfilter mit mehreren Zweigen.

Bei der Verwendung von Passivfiltern gibt es einige Nachteile. Bei Teillast besteht die Gefahr eines Spannungsanstiegs aufgrund einer zu hohen Filterkapazität, die zu einem kapazitiven Leistungsfaktor führt. Dies kann eine Überspannung und sogar eine unerwünschte Prozessunterbrechung verursachen. Besondere Vorsicht ist bei einer Generatoreinspeisung geboten, da hier strenge Toleranzen für den kapazitiven Leistungsfaktor gelten.

Externer Aktivfilter

Ein abgestimmter Passivfilter führt zu neuen Resonanzen, die zusätzliche Oberschwingungsprobleme verursachen können. Neue Technologien in der Leistungselektronik führen zu Produkten, die Oberschwingungen durch aktive Steuerung kontrollieren können. Diese Aktivfilter (siehe Abbildung 5.3) kompensieren die Oberschwingungen im Versorgungsnetz auf der Grundlage der zu einem beliebigen Zeitpunkt erzeugten Oberschwingungen.

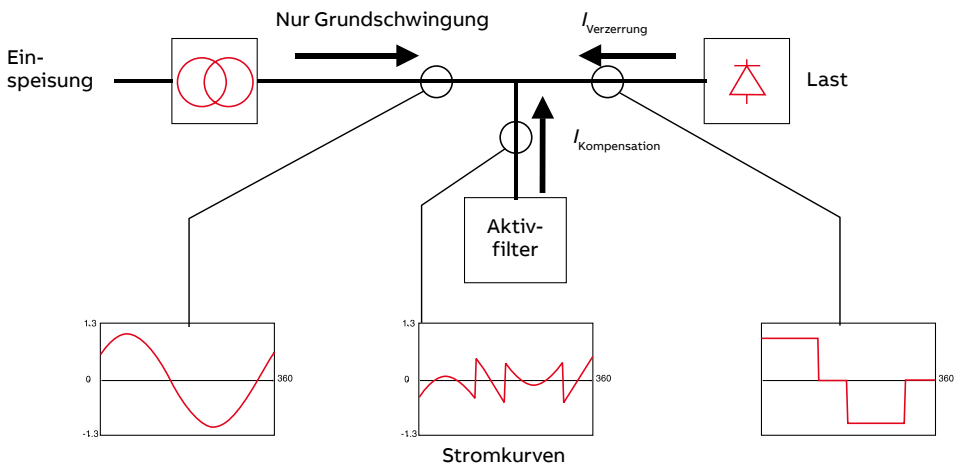


Abbildung 5.3 Darstellung des Prinzips eines externen Aktivfilters.

Ein Aktivfilter kompensiert die von nichtlinearen Lasten erzeugten Oberschwingungen, indem er die gleichen Oberschwingungen in der entgegengesetzten Phasenlage erzeugt (siehe Abbildung 5.4). Externe Aktivfilter eignen sich am besten für kleine Antriebe. Sie sind verglichen mit anderen Verfahren relativ teuer.

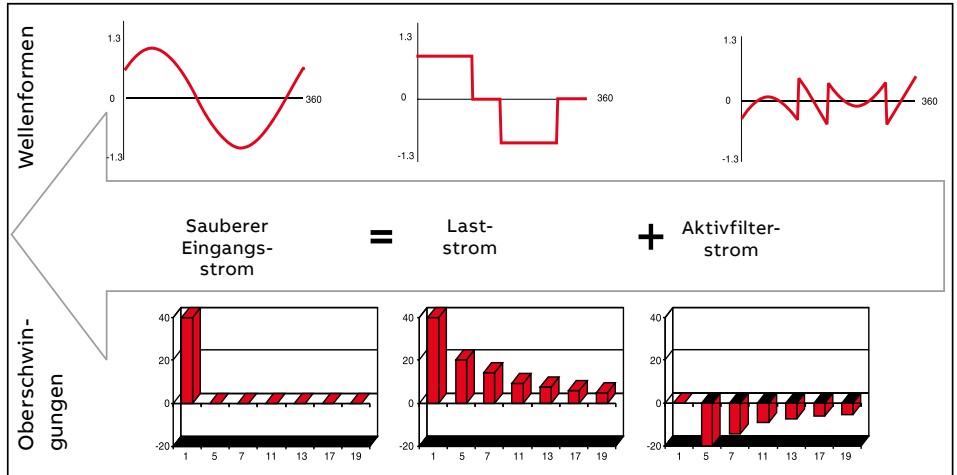


Abbildung 5.4 Wellenformen und Oberschwingungen bei externen Aktivfiltern.

Zusammenfassung

Für die Dämpfung der Oberschwingungen gibt es innerhalb und außerhalb des Antriebssystems viele Möglichkeiten. Alle haben Vor- und Nachteile und alle wirken sich auf die Kosten aus. Die beste Lösung hängt von der Gesamtbelastung, der Spannungsversorgung der Anlage und der bestehenden Verzerrung ab.

In der folgende Tabelle ist der Oberschwingungsgehalt bei 100 % Last angegeben.

Typische Oberschwingungen des Stroms						
6-Puls-Gleichrichter ohne Drossel						
Grundschwingung	5.	7.	11.	13.	17.	19.
100 %	63 %	54 %	10 %	6,1 %	6,7 %	4,8 %
6-Puls-Gleichrichter mit Drossel						
100 %	30 %	12 %	8,9 %	5,6 %	4,4 %	4,1 %
6-Puls-Gleichrichter mit Passivfilter						
100 %	3 %	3,3 %	3,5 %	2,3 %	1 %	1 %
6-Puls-Gleichrichter mit Aktivfilter						
100 %	2,3 %	2,5 %	2,6 %	1,7 %	0,8 %	0,7 %
12-Puls-Gleichrichter mit Polykon-Transformator						
100 %	11 %	5,8 %	6,2 %	4,7 %	1,7 %	1,4 %
12-Puls mit Zweiwicklungstransformator						
100 %	3,6 %	2,6 %	7,5 %	5,2 %	1,2 %	1,3 %
24-Puls-Gleichrichter mit 2/3-Wicklungstransformatoren						
100 %	4 %	2,7 %	1 %	0,7 %	1,4 %	1,4 %
Frequenzumrichter mit IGBT-Einspeisung / Low Harmonic Drive						
100 %	0,7 %	1,4 %	1 %	0,7 %	1 %	0,6 %

Vergleich von Lösungen zur Oberschwingungsreduzierung

	6-Puls-Gleichrichter ohne Drossel	6-Puls-Gleichrichter mit großer Drossel	6-Puls-Frequenzumrichter und Passivfilter	6-Puls-Frequenzumrichter und Aktivfilter	Multipuls-Frequenzumrichter	Frequenzumrichter mit IGBT-Einspeisung / Low Harmonic Drive
Typischer THDI% bei Nennlast	>100 %	40 %	<10%	<5 %	6 bis 10 % (12-Puls) <6 % (18-Puls)	<5 %
Effizienz des Antriebssystems (ohne Motor und Einspeisung), typischer Wert bei Nennleistung	~98 %	~97 %	~96,5 % ¹⁾	~96,5 % ¹⁾	~96 % ²⁾	~96,5 % ³⁾
Motorspannung ⁴⁾	~0,96 × Einspeisenspannung	~0,95 × Einspeisenspannung	~0,95 × Einspeisenspannung	~0,95 × Einspeisenspannung	~0,95 × Einspeisenspannung	Volle Motorspannung
Echter Leistungsfaktor	~0,7 nur bei Nennlast	~0,98 nur bei Nennlast	~0,98 nur bei Nennlast	~0,99 nur bei Nennlast	~0,98 nur bei Nennlast	1,0 bei allen Lastbedingungen
Einfachheit der Installation	Eine einzige Komponente	Eine einzige Komponente oder zwei separate Komponenten	Zwei separate Komponenten	Zwei separate Komponenten	Mehrere separate Komponenten	Eine einzige Komponente
Platzbedarf der Installation ⁶⁾	100 %	110 %	250 %	250 %	300 % ⁵⁾	120 %
Gerätekosten aller erforderlicher Komponenten ⁶⁾	100 %	120 %	190 %	230 %	200 % ⁵⁾	190 %

Die Daten beruhen auf einer 100 kW Installation. Die Ergebnisse können entsprechend der Gerätetypen und ihrer Dimensionierung variieren.

Bei Frequenzumrichtern mit IGBT-Einspeisung basieren die Analysen auf Ultra-Low Harmonic Drives von ABB.

¹⁾ Beide Filter und der Frequenzumrichter-Wirkungsgrad müssen berücksichtigt werden: Der Filterwirkungsgrad beträgt ~98,5 % und der Wirkungsgrad eines 6-Puls-Standard-Frequenzumrichters ~98 %. Der kombinierte Gesamtwirkungsgrad beträgt ~96,5 %

²⁾ Der Wirkungsgrad von Transformator und Frequenzumrichter muss berücksichtigt werden: Der typische kombinierte Gesamtwirkungsgrad beträgt ~96 %

³⁾ Erhöhte Verluste durch die Wechselrichter-Einspeiseeinheit und den Filter. Der kombinierte Gesamtwirkungsgrad beträgt ~96,5 %

⁴⁾ Um die gleiche mechanische Leistung mit einer geringeren Motorspannung zu erzielen, ist ein höherer Strom erforderlich, was mit höheren Verlusten im Motor einhergeht.

⁵⁾ Der Kosten- und Größenvergleich schließt den Mehrwicklungstransformator ein.

⁶⁾ Maße und Kosten werden auf Basis eines Einzelantriebs verglichen.

Anhang

Berechnung des Oberschwingungsgehalts mit der DriveSize Software

DriveSize beschleunigt die Auswahl des Motors und des Frequenzumrichters auf Basis der Motorlast. Die dazu gehörende Analyse der Netzoberschwingungen basiert auf der DC-Leistung, die von den Gleichrichtern oder den rückspeisefähigen Einspeiseeinheiten benötigt wird. Standardmäßig berechnet DriveSize die DC-Leistung durch Addition der Motor- und Antriebsverluste zur mechanischen Leistung an der Motorwelle (Grundleistung), die zur Auswahl des Motors verwendet wird. Es können jedoch auch Berechnungen mit Teillasten und angemessenen Überlasten durchgeführt werden. Weitere Parameter für das Netz sind die Frequenz, die Kurzschlussleistung sowie die Primär- und Sekundärspannungen des Transformators, die als Netz- und Transformatoraten angegeben werden. Das untersuchte System ist auf Transformatoren mit zwei oder drei Wicklungen beschränkt. Eine weitere Einschränkung besteht darin, dass nur AC-Motorantriebe an die Sekundärseite des Transformators angeschlossen werden dürfen. Wenn in realen Systemen lineare Lasten vorhanden oder geplant sind, müssen die Anwender diese Ströme selbst zum Grundschwingungsstrom der erstellten Excel-Berichte hinzuzufügen.

Berechnungsbeispiel mit der Online-Version von DriveSize

Nehmen wir als Beispiel ein 690 V Netz mit drei Motorantrieben mit einer Grundleistung von 50 kW, 500 kW und 500 kW. Motor und Frequenzumrichter sowie der Transformator sind ausgewählt. Abbildung 7.1 zeigt, wie die Projektkonfiguration auf dem Bildschirm dargestellt wird. Es ist zu beachten, dass die beiden Frequenzumrichter sogenannte 6-Puls-Frequenzumrichter mit Diodenbrücke (ACS880-01 und ACS880-07) sind und der dritte Frequenzumrichter ein Low Harmonic Drive (ACS880-37) ist. Es könnte auch ein rückspeisefähiger Frequenzumrichter sein. Der rückspeisefähige Frequenzumrichter und der Low Harmonic Drive verfügen über aktive Einspeiseeinheiten sowie LCL-Filter und haben somit einen AC-Strom mit geringem Oberschwingungsgehalt.

Mit DriveSize können die Oberschwingungen für jeden einzelnen Frequenzumrichter oder den Transformator berechnet werden. Wenn in der Liste nur ein einzelner Frequenzumrichter markiert ist, dann werden die Oberschwingungen nur für diesen Frequenzumrichter berechnet. In der Realität würde dies bedeuten, dass die anderen Frequenzumrichter abgeschaltet werden müssten, damit sie die Oberschwingungen nicht beeinflussen. Wenn die Oberschwingungen eines einzelnen Frequenzumrichters berechnet werden, können die Kabelparameter des Frequenzumrichters betrachtet werden. Auch wenn der Frequenzumrichter eine AC-Drossel besitzt, möchte der Anwender evtl. untersuchen, ob eine zusätzliche externe AC-Induktivität vorteilhaft wäre. Hier kann der Anwender die verschiedenen Frequenzumrichtertypen auch einfach vergleichen: 6-Puls/12-Puls-Frequenzumrichter, Frequenzumrichter mit aktiver Einspeiseeinheit und rückspeisefähige Frequenzumrichter mit Gleichrichtereinheit.

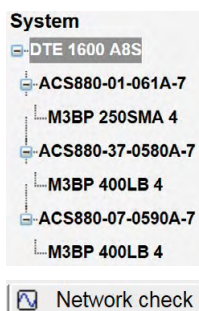


Abbildung 7.1 Ein Projektbeispiel mit drei Frequenzumrichtern und Motoren, die über einen gemeinsamen Transformator versorgt werden. Um die Oberschwingungen eines einzelnen Frequenzumrichters zu berechnen, markieren Sie ihn und klicken Sie auf die Schaltfläche Network Check (Netzprüfung). Um die kombinierten Oberschwingungen aller Frequenzumrichter zu berechnen, markieren Sie den Transformator und klicken Sie auf Network Check.

Bei einem einzelnen Frequenzumrichter öffnet sich das in Abbildung 7.2 dargestellte Dialogfenster Network Check. Die Netz- und Transformatoraten werden von dem ausgewählten Transformator übernommen, und als Kabeldaten werden die Standardparameterwerte verwendet. Wie bereits zuvor erläutert, ist P_{dc} [kW] die DC-Leistung, welche die Software auf Basis der mechanischen Last berechnet hat.

Die Einspeisedaten werden vom ausgewählten Frequenzumrichter übernommen, der in diesem Beispiel für einen 6-Puls-Frequenzumrichter mit Diodenbrückeneinspeisung die Induktivität L_{ac} der eingebauten AC-Drossel und die Kapazität C_{dc} des DC-Zwischenkreis-Glättungskondensators enthält. Je höher die Last, desto höher sind die Oberschwingungen in Ampère, aber die prozentualen Oberschwingungswerte werden bei Teillasten tendenziell höher.

Alle weißen Felder sind editierbar und Berechnungen können mit den gewünschten Eingaben durchgeführt werden.

Network and transformer data			
Primary voltage [V]	21000	Secondary voltage [V]	690
Frequency [Hz]	50		
Network SK [MVA]	200	<input type="checkbox"/> unknown	
Transformer Sn [kVA]	1600		
Transformer Pk [kW]	16		
Transformer Zk [%]	6		
Supply cable type	<input checked="" type="radio"/> Cable <input type="radio"/> Busbar		
Cable quantity	1	Cable impedance [uOhm/m]	70
Cable length [m]	3		

Supply unit data	
Lac [uH]	70
Cdc [mF]	7.9
Pdc [kW]	526.3

Result	
Cos ø1	0.97
Tot. power factor	0.91
Udc [V]	895.60

Abbildung 7.2 Eingabefenster des Dialogs Network Check für einen 6-Puls-Frequenzumrichter mit Diodenbrückeneinspeisung.

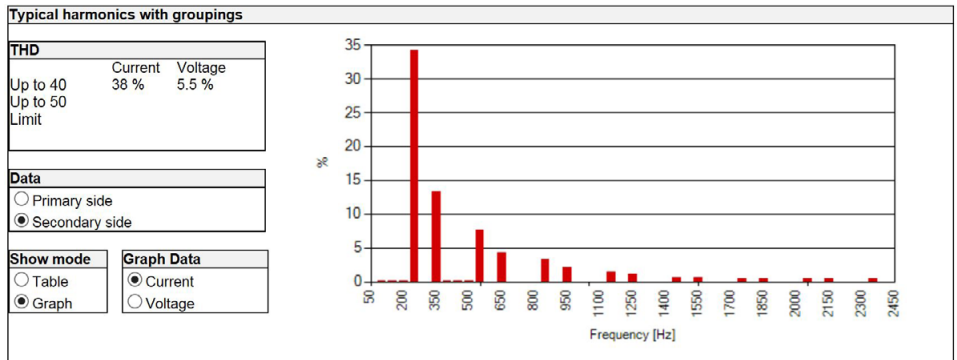


Abbildung 7.3 Beispielergebnisse für einen 6-Puls-Frequenzumrichter mit Diodenbrückeneinspeisung.

In Abbildung 7.4 ist das Fenster Network Check für den Low Harmonic Drive aus unserem Beispiel dargestellt. Mit einer aktiven Einspeiseeinheit sind die Oberschwingungsströme niedrig und von der P_{dc} -Leistung weitgehend unabhängig. Wiederum steigen die Prozentwerte der Oberschwingungen bei Teillast tendenziell an.

Network and transformer data			
Primary voltage [V]	21000	Secondary voltage [V]	690
Frequency [Hz]	50		
Network Sk [MVA]	200	<input type="checkbox"/> unknown	
Transformer Sn [kVA]	1600		
Transformer Pk [kW]	16		
Transformer Zk [%]	6		
Supply cable type	<input checked="" type="radio"/> Cable <input type="radio"/> Busbar		
Cable quantity	1	Cable impedance [uOhm/m]	70
Cable length [m]	3		

Supply unit data	
Pdc [kW]	537.9

Result	
Cos ϕ 1	1.00
Tot. power factor	1.00
Udc [V]	992.00

Abbildung 7.4 Eingabeteil des Dialogs Network Check für eine aktive Einspeiseeinheit.

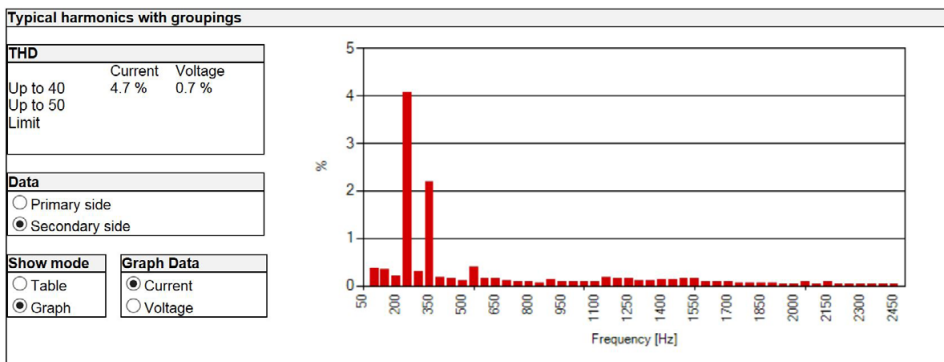


Abbildung 7.5 Ergebnisse für das Beispiel mit einem Frequenzrichter mit aktiver Einspeiseeinheit.

Das Kontrollfenster in Abbildung 7.6 zeigt für dieses Beispiel die kombinierten Frequenzrichter-Oberschwingungen an. In diesem Beispiel addiert die Software die Oberschwingungen von 6-Puls-Frequenzumrichtern mit Diodenbrückeneinspeisung mit 59,7 kW + 526,3 kW DC-Last und Frequenzumrichtern mit aktiven Einspeiseeinheiten mit 537,9 kW DC-Last. Es ist zu beachten, dass an das Netz angeschlossene Frequenzumrichter mit aktiver Einspeiseeinheit den kombinierten THD reduziert.

Network and transformer data			
Primary voltage [V]	21000	Secondary voltage [V]	690
Frequency [Hz]	50		
Network Sk [MVA]	200	<input type="checkbox"/> unknown	
Transformer Sn [kVA]	1600		
Transformer Pk [kW]	16		
Transformer Zk [%]	6		
Supply cable type	<input checked="" type="radio"/> Cable <input type="radio"/> Busbar		
Cable quantity	3	Cable impedance [uOhm/m]	70
Cable length [m]	3		

Supply unit data			
Filter type	DC filter	AC filter	ISU filter
Pdc[kW]	59.7	526.3	537.9
L[uH]	810	70	
Cdc[mF]	1	7.9	

Result	
Cos ø1	0.99
Tot. power factor	0.98
Udc [V]	992.00

Abbildung 7.6 Eingabefenster im Dialog Network Check für kombinierte Oberschwingungen für 6-Puls-Frequenzumrichter mit Diodenbrückeneinspeisung und einen Frequenzumrichter mit aktiver Einspeiseeinheit, der über einen sogenannten ISU-Filter verfügt. ISU steht für IGBT-Einspeiseeinheit (IGBT Supply Unit).

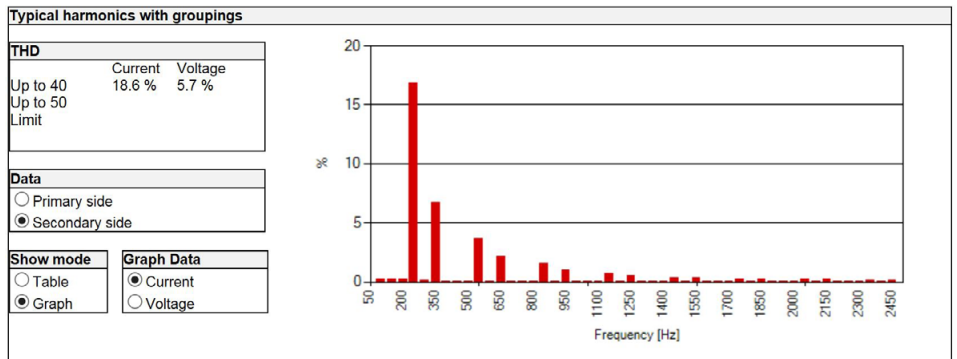


Abbildung 7.7 Beispiel für kombinierte Ergebnisse.

Definitionen

- S:** Scheinleistung
- P:** Wirkleistung
- Q:** Blindleistung
- R_{sc} :** Das Kurzschlussverhältnis wird definiert als Kurzschlussleistung der Einspeisung am Verknüpfungspunkt zur Nennscheinleistung der betreffenden Einrichtung. $R_{sc} = S_s / S_n$.
- ω_1 :** Winkelfrequenz der Grundschwingung $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$, wobei f_1 die Grundfrequenz ist (z. B. 50 Hz oder 60 Hz).
- n:** Ganzzahl $n = 2, 3, \dots \infty$. Oberschwingungen werden definiert als $\omega_n = n \cdot \omega_1$.
- I_n :** Effektivwert der n-ten Harmonischen des Netzstroms.
- Z_n :** Impedanz bei Frequenz $n \cdot \omega_1$.
- % U_n :** Spannungsüberschwingung in Prozent der Grundspannung (des Netzes).
- THD:** Der Gesamtüberschwingungsgehalt des Eingangsstroms wird definiert als:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1}$$

wobei I_1 der Effektivwert des Grundschwingungsstromes ist.

Der THD der Spannung kann auf ähnliche Weise berechnet werden. Es folgt ein Beispiel für die 25 niedrigsten Oberschwingungen mit ihren theoretischen Werten:

$$THD = \frac{\sqrt{20^2 + 14.3^2 + 9.1^2 + 7.7^2 + 5.9^2 + 5.3^2 + 4.4^2 + 4^2}}{100}$$

$$THD = 29\%$$

PWHD: Der teilweise gewichtete Oberschwingungsgehalt wird definiert als:

$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2}$$

PCC: Der Verknüpfungspunkt wird in diesem Kontext als Einspeisepunkt definiert, der für die betreffende Einrichtung und andere Einrichtungen gemeinsam sein kann. In den Normen gibt es verschiedene Definitionen für den Verknüpfungspunkt und noch weit-
aus mehr Interpretationen dieser Definitionen in der Literatur. Die hier gewählte Defi-
nition wird als die aus technischer Sicht beste betrachtet.

PF: Leistungsfaktor definiert als $PF = P/S$ (Leistung / Volt-Ampère)
 $= I_1 / I_s * DPF$ (bei Sinusstrom ist PF gleich DPF).

DPF: Grundschrwingungs-Verschiebungsfaktor definiert als $\cos\phi_1$, wobei ϕ_1 der Phasen-
winkel zwischen dem von der Einrichtung verbrauchten Grundfrequenzstrom und
der Grundfrequenz der Einspeisespannung ist.

RRU: Rückspeisefähige Gleichrichtereinheit. Eine IGBT-Brücke, die im Diodenmodus
betrieben wird.

PDS: Leistungsantriebssystem. Kombination aus Wechselrichter und Motor.

ISU: IGBT-Einspeiseeinheit. Das Gleiche wie eine aktive Einspeiseeinheit. Wird häufig
auch als Active Front End oder aktiver Einspeisewandler bezeichnet.

—
Weitere Informationen erhalten Sie von Ihrer
ABB-Vertretung oder im Internet

new.abb.com/drives/de
new.abb.com/drives/de/channel-partners

